

Fontenay-aux-Roses, le 5 juin 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2020-00087

Objet ...	EDF - Réacteurs 900 MWe - RP4 - Maîtrise de la réactivité en situations « noyau dur » - Expertise de la réponse d'EDF aux demandes A4, A5 et A7 de la lettre de l'ASN relative aux stratégies de conduite « noyau dur »
Réf(s) ...	[1] Décision ASN n° 2014-DC-0394 du 26 juin 2012 [2] Avis IRSN/2017-00383 du 13 décembre 2017 [3] Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-013282 du 14 avril 2019 [4] Saisine ASN - CODEP-DCN-2020-027849 du 12 mai 2020 [5] Avis IRSN/2019-00245 du 25 octobre 2019 [6] Avis IRSN/2017-00002 du 3 janvier 2017 [7] Avis IRSN/2019-00041 du 27 février 2019 [8] Lettre ASN - CODEP-DCN-2017-045997 du 13 décembre 2017
Nbre de page(s)...	7

À l'issue des Études complémentaires de sûreté (ECS) menées à la suite de l'accident de Fukushima Daiichi, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé en 2012 à Électricité de France (EDF) de mettre en œuvre des dispositions matérielles et organisationnelles, appelées « noyau dur » (ND), afin de pouvoir gérer une situation accidentelle de perte totale des alimentations électriques et de la source froide de ses réacteurs qui serait consécutive à une agression naturelle (comme le séisme, l'inondation, les vents extrêmes, la foudre, la grêle ou la tornade) d'un niveau extrême (dite « agression noyau dur »), au-delà des niveaux considérés actuellement dans les rapports de sûreté des réacteurs. Le noyau dur doit permettre d'assurer, dans une telle situation (dite « situation noyau dur »), la prévention de la fusion du combustible, la limitation de rejets radioactifs massifs en cas de fusion du cœur ainsi que la gestion de la crise en résultant.

L'ASN a fixé seize prescriptions complémentaires applicables aux sites électronucléaires pour la mise en place du ND, en particulier la prescription technique ECS-ND1 (cf. référence [1]), qui stipule que « *le noyau dur permet des stratégies de conduite privilégiant le refroidissement par les circuits secondaires en conservant l'intégrité du circuit primaire principal* ».

En réponse à cette prescription, EDF a élaboré une procédure de conduite accidentelle (dite « conduite ND ») pour gérer des situations dans lesquelles tous les équipements non robustes à

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses

Standard +33 (0)1 58 35 88 88

RCS Nanterre 8 440 546 018

une agression ND ne sont plus opérationnels¹. Lorsque le réacteur est initialement en production, cette stratégie repose :

- d'une part sur la chute complète des grappes de commande et d'arrêt dans le cœur, ce qui permet d'arrêter la réaction nucléaire en chaîne ;
- et d'autre part sur un refroidissement rapide du circuit primaire principal et une dépressurisation par l'ouverture d'une ligne de décharge du pressuriseur (LDP), pour permettre la décharge de l'eau borée contenue dans les accumulateurs RIS du système d'injection de sécurité.

Le refroidissement initié par l'opérateur implique une augmentation de la réactivité du cœur par effet modérateur². Ainsi, l'instant précédent la décharge des accumulateurs est le moment pénalisant de la conduite du point de vue de la maîtrise de la réactivité du cœur. Il se produit 1h30³ après la chute des grappes dans le cœur.

Dans une précédente expertise (cf. avis en référence [2]), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a en particulier émis des réserves quant à la première hypothèse d'EDF pour sa stratégie de conduite ND, à savoir la chute complète des grappes jusqu'au fond des rétreints⁴ : « *l'IRSN considère que la démonstration de chutabilité de l'ensemble des grappes de commande jusqu'au fond du rétreint des tubes-guides des assemblages de combustible n'apparaît pas atteignable avec le niveau de confiance nécessaire au regard de l'enjeu de sûreté. Ceci met en cause la démonstration de la maîtrise de la réactivité requise par la stratégie de conduite retenue par EDF en cas de SND⁵* ».

En conséquence, l'ASN a formulé notamment la demande A4 dans sa lettre en référence [3] : « *L'ASN vous demande de proposer [...] pour les réacteurs de 900 MWe et les gestions de combustibles associées, une configuration raisonnablement enveloppe correspondant à l'absence de chute d'une ou plusieurs grappes de commande dans une même zone du cœur, incluant un blocage hors du cœur de la grappe la plus pénalisante en terme de criticité. Vous présenterez la stratégie de conduite permettant de démontrer la sous criticité du cœur dans cette configuration en identifiant, le cas échéant, les éventuelles modifications associées à cette stratégie et le calendrier de déploiement associé* ».

Conformément à la saisine de l'ASN citée en référence [4] et dans le cadre de sa prise de position relative à la poursuite de l'exploitation des réacteurs de 900 MWe au-delà de leur quatrième visite décennale (VD4 900), l'IRSN a examiné les éléments transmis par EDF en réponse à cette demande.

Maîtrise de la réactivité en situation ND

En réponse à la demande A4 de l'ASN susvisée, EDF a transmis des calculs de réactivité pour les réacteurs du palier 900 MWe à l'état VD4 pour les gestions de combustible CYCLADES (en vigueur sur les réacteurs de type CPO) et PARITÉ MOX (en vigueur sur la majorité des réacteurs de type CPY). Ces calculs sont réalisés avec la méthode mise en œuvre pour l'étude de perte totale des alimentations électriques (situation « H3 ») due à une défaillance de cause commune des tableaux électriques LH (situation dite « DCC-LH »). Cette méthode a notamment été jugée satisfaisante par l'IRSN

¹ En effet, certains équipements, de par leur conception, ne font pas l'objet d'une qualification leur permettant de résister à une agression extrême en conservant leur capacité fonctionnelle et sont, par conséquent, considérés comme inutilisables dans le cadre de la conduite ND.

² L'augmentation de la densité de l'eau du circuit primaire au cours du refroidissement favorise la réaction en chaîne.

³ Cette durée correspond au temps avant l'atteinte des conditions permettant la décharge des accumulateurs, en tenant compte d'un refroidissement du circuit primaire à -56° C/h et d'un délai de 20 minutes avant toute action de l'opérateur.

⁴ Le rétreint correspond à la partie basse des tubes guides des assemblages de combustible, dont le diamètre est réduit afin de freiner la chute des grappes en fin d'insertion dans le cœur.

⁵ Séisme de niveau noyau dur.

dans son avis en référence [5] relatif à l'analyse des études d'accidents associées au quatrième réexamen périodique des réacteurs du Bugey (RP4 900 MWe CP0). Les calculs réalisés par EDF considèrent toutes les grappes insérées sauf la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur, et deux grappes adjacentes bloquées en haut du rétreint. Par ailleurs, ces calculs valorisent l'anti-réactivité apportée par l'accroissement temporaire de la concentration en xénon (aussi appelé effet neutrophage du xénon⁶) après l'arrêt automatique du réacteur (AAR).

Au cours de l'expertise, EDF a complété ses calculs :

- d'une part en ne valorisant pas l'anti-réactivité apportée par l'accroissement de la concentration en xénon après l'AAR, afin de se conformer à la demande A5⁷ de l'ASN dans sa lettre en référence [3] ;
- d'autre part en explorant d'autres configurations de blocage de grappes.

Avec ces hypothèses, les résultats obtenus par EDF montrent que le maintien de la sous-criticité du cœur ne peut être garanti tout au long de la conduite ND pour la configuration de blocage retenue en réponse à la demande A4 de l'ASN sans valorisation de l'effet de l'accroissement temporaire de la concentration en xénon.

EDF poursuit son analyse en évaluant si le retour en puissance consécutif à une reprise de la réaction nucléaire en chaîne resterait accommodable. Pour cela, EDF vérifie que le circuit secondaire est apte à évacuer cette puissance et que les réserves en eau secondaire mobilisables sont suffisantes à la fois en débit et en volume afin d'éviter l'assèchement des générateurs de vapeur (GV) à court terme et à long terme, permettant ainsi le refroidissement imposé par la conduite ND ultime et le refroidissement nécessaire pour accommoder le retour en puissance.

Sur la base des résultats obtenus avec les hypothèses précitées, EDF estime que le retour en puissance observé reste accommodable et que l'atteinte de l'état de repli du réacteur est assurée.

Concernant la maîtrise de la réactivité dans les situations du noyau dur, l'IRSN :

- estime que la configuration de blocage de grappes retenue par EDF dans les calculs en réponse à la demande A4 de l'ASN est acceptable ;
- estime que l'effet de l'accroissement temporaire de la concentration du xénon ne doit pas être considéré dans un contexte de délais contraints sur les actions à effectuer par l'opérateur, ce qui, comme l'indique l'ASN dans sa lettre en référence [3], n'est pas « compatible avec des situations très dégradées où une certaine capacité d'adaptation doit être recherchée » ;
- considère que la conduite mise en œuvre par l'opérateur ne doit pas induire volontairement un retour en puissance pour la configuration de blocage de grappes retenue en réponse à la demande A4 de l'ASN, ce qui reviendrait à dégrader la fonction de sûreté liée à la maîtrise de la réactivité, donc l'état de l'installation. Cette position a été précisée par l'ASN dans sa lettre en référence [3] ;
- rappelle qu'il existe d'importantes réserves sur la capacité des grappes à chuter complètement (mentionnées dans l'avis cité en référence [2]⁸, et reprises par l'ASN dans sa lettre en référence [3]). **Ainsi, il n'est pas possible d'exclure, avec un haut niveau de confiance, qu'un nombre significatif de grappes soient bloquées en cas de SND, dans une configuration difficilement prévisible. Compte tenu de la sensibilité du niveau de**

⁶ L'isotope 135 du xénon a une très forte capacité d'absorption des neutrons. Après l'AAR, la concentration en xénon augmente dans un premier temps, ce qui est un effet favorable pour la maîtrise de la réactivité.

⁷ « L'ASN vous demande que votre stratégie de conduite soit définie sans valoriser l'augmentation temporaire de la concentration en xénon ».

⁸ Depuis lors, les éléments transmis par EDF visant à cette démonstration ne sont pas de nature à changer les conclusions de l'IRSN.

puissance atteint au nombre et à la position des grappes bloquées⁹, cela pourrait empêcher le refroidissement du circuit primaire puis provoquer un assèchement des GV en raison de l'excès de puissance à évacuer puis potentiellement la fusion du cœur.

En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF doit mettre en œuvre une modification permettant d'injecter du bore au début de la conduite ND ultime. Cette modification devra, d'une part présenter une qualification lui permettant de conserver ses capacités fonctionnelles en cas d'agression extrême, et d'autre part *a minima* garantir le non-retour en criticité pour la configuration de blocage retenue en réponse à la demande A4, et ce sans valorisation de l'anti-réactivité qui serait apportée par l'accroissement temporaire de la concentration en xénon dans le cœur. Dans ce cas, l'IRSN estime que, en cas de blocage d'un nombre significatif de grappes (dû à un SND), le risque de fusion du cœur serait alors significativement réduit par la mise en œuvre de cette modification.

Mise en perspective de l'intérêt pour la sûreté d'un moyen supplémentaire d'injection d'eau borée à haute pression

La maîtrise de la réactivité pose également des difficultés dans la gestion de situations qui ne sont pas du ressort de la conduite ND ultime. Conformément à la saisine de l'ASN en référence [4], l'IRSN rappelle ici ses positions, formulées dans de précédentes expertises et qui restent valables à ce jour (cf. avis [6] et [7]).

Conduite progressive

En complément de la conduite ND ultime, le principe d'une conduite dite progressive en valorisant des équipements non robustes ND s'ils sont toujours opérationnels a été défini. Cette conduite doit notamment permettre la maîtrise de la réactivité sans ouverture d'une LDP, ce qui nécessite de disposer d'un moyen pour injecter du bore à haute pression. Or, à ce jour, l'IRSN note qu'aucun des moyens actuels d'injection de bore à haute pression ne seraient disponible pour mettre en œuvre cette conduite progressive. En effet, en cas de perte totale des sources électriques externes et internes sur l'ensemble des réacteurs d'un même site, dite « situation H3 de site », même si la pompe de test¹⁰ s'avérait encore fonctionnelle et disponible (car réalimentée par le DUS¹¹), la configuration de partage entre les deux réacteurs jumelés ne permettrait pas de réaliser la conduite progressive de manière sûre, et ce pour aucun des deux réacteurs.

Ces éléments mettent donc en cause le principe même de conduite progressive, et plaident donc pour l'ajout d'un moyen complémentaire d'injection à haute pression d'eau borée disponible dans ces situations pour permettre ce type de conduite. En outre, pour les réacteurs du palier 1300 MWe, EDF a prévu l'ajout d'un dispositif d'injection permettant d'assurer la maîtrise de la réactivité sans recourir à l'ouverture d'une LDP.

⁹ Par exemple, un blocage de seulement deux grappes hors du cœur conduit à une réactivité significativement plus importante que pour la configuration retenue en réponse à la demande A4 et donc à un retour en puissance plus élevé.

¹⁰ Pompe assurant l'injection aux joints des pompes primaires, nécessaire en situation de perte totale des alimentations électriques pour garantir l'intégrité du circuit primaire lorsque la température primaire en branche froide est supérieure à 190 °C ou la pression primaire supérieure à 45 bar. Cette pompe est unique par paire de réacteurs.

¹¹ Diesel d'ultime secours, matériel faisant partie du noyau dur.

Accidents de la démonstration de sûreté

Par ailleurs, pour les transitoires de la démonstration de sûreté, l'IRSN rappelle que :

- à la suite de l'anomalie déclarée par EDF en 2016 au sujet de l'absence de vérification de maîtrise de la réactivité lors de la conduite de certains transitoires du domaine complémentaire¹², EDF a revu en situation H3/DCC-LH sa stratégie de conduite pour les paliers CP0 et CPY, en rehaussant la température branche froide cible à 240°C (au lieu de 190°C), ce que l'IRSN considère comme une régression par rapport à la conduite actuelle vis-à-vis du risque de perte d'intégrité du circuit primaire¹³ ;
- d'autres transitoires du domaine complémentaire requièrent un repli alors que le seul moyen d'injection de bore à haute pression potentiellement disponible est la pompe de test. Or, cette pompe est peu fiable¹⁴, et, comme indiqué ci-dessus, son utilisation est limitée car elle est partagée entre deux réacteurs ;
- les situations de perte totale de la source froide sur plusieurs réacteurs d'un même site (appelées « H1 de site ») font actuellement l'objet d'études d'EDF qui doivent conduire à l'établissement d'un dossier d'amendement aux RGE en 2021, afin de les inclure dans la démonstration de sûreté conformément aux demandes de l'ASN (cf. référence [8]). L'efficacité des parades envisagées par EDF pour pouvoir maintenir une pompe RCV¹⁵ en fonctionnement pour assurer l'apport de bore nécessaire au repli du réacteur n'est actuellement pas acquise.

L'IRSN estime donc que disposer d'un moyen complémentaire d'injection à haute pression d'eau borée (notamment ceux étudiés par EDF en réponse à la demande A7 de l'ASN dans sa lettre en référence [3]) fiable et disponible notamment en situations H3 et H1 de site permettrait d'améliorer sensiblement la maîtrise de la réactivité sur le palier 900 MWe dans les situations accidentelles mentionnées, ce qui constituerait une amélioration notable de la sûreté.

Conclusion

À l'issue de son expertise, l'IRSN n'a pas de remarque sur la méthode et les hypothèses utilisées par EDF dans ses calculs de réactivité. En outre, l'IRSN estime que la configuration de blocage de grappes retenue par EDF dans les calculs en réponse à la demande A4 est acceptable.

Néanmoins, il subsiste des réserves importantes quant à la capacité des grappes à chuter intégralement en cas de SND (mentionnées dans l'avis en référence [2]). Par ailleurs, l'IRSN estime que, face à la variabilité des situations à couvrir, l'effet de l'accroissement temporaire de la concentration en xénon ne doit pas être valorisé pour définir la conduite à tenir, et que la conduite ND ultime ne doit pas amener le réacteur à redevenir critique volontairement.

En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF doit mettre en œuvre une modification - robuste aux situations du noyau dur - permettant l'injection à haute pression d'eau borée dès le début de la conduite ND ultime. Ceci fait l'objet de la recommandation présentée en annexe de cet avis.

¹² Le domaine complémentaire désigne des événements déclencheurs différents, et éventuellement plus complexe, que ceux du domaine de dimensionnement, et qui ont été pris en compte postérieurement à la conception.

¹³ EDF a identifié un phénomène de corrosion hydrothermique du joint n°1 des pompes primaires à une température primaire supérieure à 200°C, susceptible de les détériorer. En sus, la détérioration du joint n°1 peut conduire à celle du joint n°2 très sensible aux écaillures provenant du joint n°1.

¹⁴ La probabilité de défaillance en fonctionnement de la pompe de test utilisée dans les études probabilistes de sûreté VD4 900 est évaluée à $4,0 \cdot 10^{-1}$ sur 24 heures.

¹⁵ Système de contrôle chimique et volumétrique du circuit primaire.

En outre, l'IRSN rappelle que l'ajout d'un tel moyen constituerait une amélioration significative de la sûreté :

- en permettant la définition d'une conduite dite « noyau dur progressive » (dont l'objectif est la maîtrise de la réactivité sans ouverture de la seconde barrière de confinement conformément à la PT ECS-ND1 de l'ASN) ;
- en relâchant les contraintes liées à la maîtrise de la réactivité pour la définition de la conduite pour certains transitoires de la démonstration de sûreté.

Pour le Directeur général et par délégation,
Olivier DUBOIS
Adjoint à la Directrice de l'expertise de sûreté

Annexe à l'avis IRSN n° 2020-00087 du 5 juin 2020

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre une modification - robuste aux situations noyau dur - permettant d'injecter du bore au début de la conduite noyau dur ultime, et permettant le maintien de la sous-criticité durant tout le transitoire en considérant le blocage de la grappe la plus anti-réactive hors du cœur et de deux grappes adjacentes en haut du rétreint, et ce sans valorisation de l'effet neutrophage lié à l'accroissement temporaire de la concentration en xénon.

Par ailleurs, EDF présentera les bénéfices apportés par cette modification pour la maîtrise de la réactivité dans les situations du domaine complémentaire ou affectant l'ensemble des réacteurs d'un site.